

PARTE V

PROCEDIMENTOS DE AVALIAÇÃO DE RUÍDO

5.1. Avaliação da Exposição Ocupacional do Ruído

A avaliação da exposição ocupacional do ruído encontra-se regulamentada no Brasil pela Portaria n. 3.214, NR-15, Anexos 1 e 2, sendo também aplicada a NR-9, que exige nível de ação quando a dose de ruído for $> 0,5$ (TWA = 80 dB(A)).

5.1.1. LIMITES DE TOLERÂNCIA

O item 15.1.5 da NR-15 da Portaria n. 3.214 define como limite de tolerância a concentração ou intensidade máxima ou mínima relacionada com a natureza e o tempo de exposição ao agente, que não causará dano à saúde do trabalhador durante sua vida laboral. Já a ACGIH (*American Conference Governmental of Industrial Hygienists*) estabelece que o limite de tolerância para o ruído não protege todos os trabalhadores dos efeitos adversos da exposição ao ruído. O limite de tolerância visa a proteger a maioria da população, de forma que a perda auditiva média produzida pelo ruído nas frequências de 500, 1.000 e 3.000 Hz, durante 40 anos de exposição, não exceda a 2 dB. Assim, os valores dos limites de tolerância são referenciais para um programa de conservação auditiva.

Consequentemente, o limite de tolerância representa as condições sob as quais se acredita que a maioria dos trabalhadores expostos repetidamente não sofrerá efeitos adversos à sua capacidade de ouvir e de entender uma conversação normal (ACGIH).

A NR-15 definiu como ruído contínuo ou intermitente aquele que não seja de impacto. Para o ruído contínuo ou intermitente, a NR-15, anexo 1, fixa para cada nível de pressão sonora o tempo diário máximo permitido, conforme a tabela a seguir:

TABELA 1

NÍVEL DE RUÍDO dB(A)	MÁXIMA EXPOSIÇÃO DIÁRIA PERMISSÍVEL
85	8 horas
86	7 horas
87	6 horas
88	5 horas
89	4 horas e 30 minutos
90	4 horas
91	3 horas e 30 minutos
92	3 horas
93	2 horas e 40 minutos
94	2 horas e 15 minutos
95	2 horas
96	1 hora e 40 minutos
98	1 hora e 15 minutos
100	1 hora
102	45 minutos
104	35 minutos
105	30 minutos
106	25 minutos
108	20 minutos
110	15 minutos
112	10 minutos
114	8 minutos
115	7 minutos

A) Limite de tolerância para ruído contínuo ou intermitente

Para os valores encontrados no nível de ruído intermediário, será considerada a máxima exposição diária permissível, relatada no nível imediatamente mais elevado.

O quadro de limites de tolerância adotado pela NR-15 é de 85 a 115 dB(A), sendo o incremento igual a 5, ou seja, a cada aumento de 5 dB(A) o tempo máximo diário de exposição reduz-se à metade. Atualmente, o NIOSH e outros órgãos internacionais, incluindo a NHO-01, utilizam o

incremento igual a 3 dB, isto é, a energia sonora duplicará ou reduzirá metade a cada aumento ou decréscimo de 3 dB. Esse método é o mais utilizado no meio científico para avaliar o comprometimento auditivo em função do nível e da duração do ruído.

Atualmente, várias normas adotam o incremento ou fator de duplicação da dose igual a 3 dB. Isto é, para cada incremento de 3 dB(A), o tempo de exposição reduz-se à metade. Esse critério é mais rigoroso, pois, para o mesmo nível de ruído, o tempo de exposição permitido é bem menor. Assim, por exemplo, para o nível de 91 dB(A) o tempo máximo permitido é de 3 (três) horas e 30 minutos por dia de acordo com a NR-15, anexo 1, enquanto que, pelo critério da ACGIH, essa duração máxima é de 2 (duas) horas.

B) Limite de tolerância para ruídos de impacto

Segundo o Anexo 2 da NR-15 da Portaria n. 3.214, entende-se por ruído de impacto aquele que apresenta picos de energia acústica de duração inferior a 1 (um) segundo, a intervalos superiores a 1 (um) segundo.

Essa norma estabelece também que os níveis de impacto deverão ser avaliados em decibéis (dB), com o medidor de nível de pressão sonora operando no circuito linear e no circuito de resposta para impacto. As leituras devem ser feitas próximas ao ouvido do trabalhador. O limite de tolerância para ruído de impacto será de 130 dB(linear). Nos intervalos entre os picos, o ruído existente deverá ser avaliado como ruído contínuo.

Em caso de não se dispor de medidor de nível de pressão sonora com circuito de resposta para impacto, a leitura será feita no circuito de resposta rápida (*fast*) e no circuito de compensação "C". Neste último, o limite de tolerância será de 120 dB(C).

As atividades ou operações que exponham os trabalhadores, sem proteção adequada, a níveis de ruído de impacto superiores a 140 dB (linear), medidos no circuito de resposta para impacto, ou superiores a 130 dB(C), medidos no circuito de resposta rápida (*fast*), oferecerão risco grave e iminente.

A medição deverá ser feita com o medidor de nível de pressão sonora operando no circuito linear com resposta para impacto, e, nesse caso, o limite é de 130 dB(linear). No entanto, a maioria dos

aparelhos comercializados no Brasil não tem esse circuito, sendo que a norma admite a medição na curva de compensação “C” e resposta rápida, pois ela é quase linear. Isso significa que praticamente não há compensação para as frequências e, nesse caso, a norma reduz o limite para 120 dB(C).

O critério para avaliação do ruído de impacto recomendado pela ACGIH (*American Conference of Governmental Industrial Hygienists*) é o seguinte:

Quando se utiliza a instrumentação específica pela norma ANSI S1.4, S1.25 ou IEC 804, o ruído impulsivo ou de impacto é automaticamente incluído na medição. As únicas exigências são a faixa de medição de 80 a 140 dB(A) e a faixa de detecção de pulso de, no mínimo, 63 dB(A).

Não deve ser permitida nenhuma exposição para ouvidos desprotegidos a níveis de pico acima de 130 dB (C) ou 140 dB (linear.)

Segundo a norma NHO-01 da FUNDACENTRO, a avaliação da exposição ao ruído de impacto deve ser feita por meio de medidor de NPS, operando em “linear” e circuito de resposta para medição de nível de pico, e o nível máximo de exposição permitido será fixado em função do número de impactos diários, calculado por intermédio da seguinte expressão:

$N_p = 160 - \log n$ (dB), onde:

N_p = nível de pico, em dB(lin), máximo permitido

n = número de impactos ocorridos durante a jornada diária de trabalho

Com base nessa expressão, a NHO-01 elaborou uma tabela correlacionando os níveis de pico máximo admissíveis e o número de impactos ocorridos durante a jornada diária de trabalho, conforme transcrição a seguir:

TABELA 02

Níveis de pico máximo admissíveis em função do número de impactos

N_p	n	N_p	n	N_p	n
120	10.000	127	1.995	134	398
121	7.943	128	1.584	135	316
122	6.309	129	1.258	136	251
123	5.011	130	1.000	137	199
124	3.981	131	794	138	158
125	3.162	132	630	139	125
126	2.511	133	501	140	100

Fonte: NHO-01 — FUNDACENTRO.

Quando o número de impactos ou de impulsos diário exceder a 10.000 ($n > 10.000$), o ruído deverá ser considerado como contínuo ou intermitente.

O limite de tolerância valor teto para ruído de impacto corresponde ao valor de nível de pico de 140 dB(lin).

O nível de ação para a exposição ocupacional ao ruído de impacto corresponde ao valor N_p obtido na expressão acima, subtraído de 3 decibéis ($N_p - 3$) dB.

Finalmente, cabe destacar que as exposições a certos agentes químicos podem resultar em perda auditiva. Em situações nas quais possa haver exposição a ruído, bem como a tolueno, chumbo, manganês ou n-butanol, monóxido de carbono, recomenda-se a realização de audiometrias periódicas que devem ser cuidadosamente revisadas. Outras substâncias sob estudo para efeitos ototóxicos são: tricloroetileno, dissulfeto de carbono, estireno, mercúrio e arsênio (ACGIH, 2014).

5.1.2. INSTRUMENTOS DE MEDIÇÕES

A) Medidor de Nível de Pressão Sonora

A NR-15, Anexo 1, estabelece que os níveis de ruído contínuo ou intermitente devem ser medidos em decibéis (dB), com o instrumento

de nível de pressão sonora operando no circuito de compensação “A” e no circuito de resposta lenta. Já a ACGIH recomenda que o nível de pressão sonora deve ser determinado por um medidor de nível de pressão sonora ou dosímetro que atenda, no mínimo, às especificações para medidores de nível de som S1.4 1983, tipo S2A ou a especificação para dosímetros individuais de ruído, ambos da *American National Standards Institute* (ANSI). Com esse instrumento (decibelímetro) são obtidos os níveis de ruído instantâneo, sendo necessário determinar o tempo de exposição a cada nível, visando a obter a dose de ruído ou efeito combinado de acordo com o item 6, Anexo 1, da NR-15. Esse instrumento deve medir, pelo menos, os circuitos de compensação A e C.

B) Audiodosímetro (Medidor Integrador de Uso Pessoal)

Quando há exposição diária a diferentes níveis de ruído, devem ser considerados os efeitos combinados, em vez dos efeitos individuais de cada um deles, conforme explicado anteriormente (Parte IV). Esse efeito combinado ou dose equivalente é definido como a soma das seguintes frações:

$$\frac{C_1}{T_1} + \frac{C_2}{T_2} \dots\dots \frac{C_n}{T_n}$$

C_n indica o tempo total em que o trabalhador fica exposto a um nível de ruído específico.

T_n indica a máxima exposição de área permissível a este nível, segundo o quadro de limites de tolerância.

A determinação da dose ou efeito combinado e o nível equivalente de ruído devem ser feitos, preferencialmente, por meio de medidores integrados de uso pessoal (dosímetros de ruído). Esse equipamento deve ser configurado de acordo com as exigências do critério estabelecido na NR-15, ou seja, jornada de trabalho de 8 (oito) horas, dose 100% ou 1 para 85 dB(A) e incremento igual a 5.

C) Analisador de frequência

Esse instrumento é útil para determinar as frequências do ruído e, conseqüentemente, verificar se o NPS concentra-se nas frequências onde a resposta subjetiva ao ruído é maior (2.000 a 5.000 Hz). Além disso, a análise de frequência permite especificar os isolamentos acústicos e calcular a atenuação dos protetores auriculares.

5.1.3. PROCEDIMENTOS DA AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL

O objetivo fundamental desse tipo de avaliação é verificar a exposição do trabalhador ao ruído, ou seja, verificar o nível de ruído a que o trabalhador fica sujeito durante sua jornada de trabalho.

Os procedimentos de avaliação da exposição ocupacional são estabelecidos na NR-15, Anexo 1, norma técnica da FUNDACENTRO, método NIOSH, OSHA, ACGIH, dentre outros. Na NR-15, Anexo 1, o procedimento é bem simplificado. A norma não determina as especificações dos medidores, nem particulariza os procedimentos de abordagem dos postos de trabalho e medições individuais integradas ao ruído de impacto; ao contrário do que ocorre com outras normas, especialmente aquelas recomendadas pela FUNDACENTRO (norma NHO-01), cuja consulta sugerimos aos leitores.

No sentido de orientar os leitores, passaremos a expor procedimento simplificado de avaliação ocupacional de ruído.

A) Reconhecimento

Em primeiro lugar, deve-se estudar o fluxo do processo produtivo da empresa ou setor analisado, de forma a identificar os locais onde há exposição ao ruído, fontes de ruído, turnos de trabalho, duração da jornada, dentre outros.

B) Grupo Homogêneo

Segundo a NHO-01 da FUNDACENTRO, Grupo Homogêneo (GHE) corresponde a um grupo de trabalhadores que experimentam exposição semelhante, de forma que o resultado fornecido pela avaliação da exposição de parte do grupo seja representativo da exposição de todos os trabalhadores que compõem o mesmo grupo.

A definição do Grupo Homogêneo pode ser feita tomando como base o organograma funcional da empresa. Devem-se definir os cargos existentes e, dentro deles, verificar as funções desempenhadas, ou seja, as atribuições desses cargos, pois muitas vezes o cargo não se aproxima da função desempenhada. Exemplo: numa mineração, um trabalhador ocupa o cargo de operador de equipamentos móveis. No entanto, exerce a função operador de trator de esteira, operador de caminhão, operador de pá carregadeira, entre outros. Outro exemplo:

uma fábrica de cimento onde os trabalhadores são classificados como operadores de produção, no entanto, dentro desse cargo haja grupos de operadores de moinho, operadores de forno, operadores de ponte, entre outros. Assim, o grupo homogêneo se aproxima mais definindo-se a função, pois há uma diferença significativa entre o nível de exposição ao ruído sofrido pelo operador de moinho e aquele sofrido pelo operador de forno, ou seja, não há semelhança de exposição ao agente.

C) Avaliação do ruído nos postos de trabalho

Definidos os grupos homogêneos, devem ser analisados os postos de trabalho. Esses postos podem ser fixos (únicos) ou variáveis. A função desempenhada pelo operador de painel, por exemplo, é fixa, pois é realizada somente em um local. Por outro lado, a função desempenhada por um encarregado de setor possui postos variáveis, já que suas atividades podem ser realizadas em vários locais.

Outra variável da exposição são as oscilações dos níveis de ruído. Há posto de trabalho único, todavia o nível de ruído é variável. Exemplo: caldeireiro, que trabalha em local fixo, mas o NPS varia de acordo com as operações, tais como: desempenho de chapas, rebarbação com lixadeira etc.

Há outras situações em que o NPS é constante, porém o trabalhador varia de local. Exemplo: uma fábrica têxtil onde o trabalhador desempenha suas atividades nos setores de fiação, tecelagem e escritório, todos com níveis de ruído diferentes.

D) Medição de níveis de ruído

Após definir os grupos homogêneos e seus respectivos postos de trabalho, passa-se para a avaliação do ruído. Primeiramente, devem-se usar instrumentos de medição de boa qualidade, calibrados corretamente, baterias carregadas, além de outros que são requisitos básicos numa medição de ruído, conforme recomendações das normas técnicas e do próprio fabricante. Em seguida, deve-se analisar o posto de trabalho, a função desempenhada, o ciclo das operações, sua frequência e a estimativa do tempo de cada uma delas. Com essa análise, devem ser medidos os níveis de ruído instantâneo nas operações ou fontes geradoras de ruído no posto de trabalho em questão. Com base nesses dados, estimam-se a dose e o nível equivalente de ruído esperado. Exemplo: um trabalhador desempenha sua atividade num

escritório durante 50% da sua jornada de trabalho e 50% num local onde o nível de ruído médio é de 90 dB(A). Assim, a dose de ruído estimada será de:

50% da jornada de 8 horas = 4 horas; assim, teremos:

$$D = \frac{8,0 \times 0,5}{4,0} = 1,0 \text{ e } Leq \text{ ou } TWA = 85 \text{ dB(A)}$$

Essa estimativa é fundamental, pois permite conferir a exatidão da dosimetria a ser realizada.

Deve-se salientar que o número de medições em função da quantidade de trabalhadores expostos a determinado grupo de risco pode ser determinado por meio das regras estatísticas. Entretanto, na prática, essa definição muitas vezes não alcança os resultados esperados. Assim, a definição do número de medições em cada grupo de risco deve ser determinada pela análise detalhada das tarefas desempenhadas e dos locais de exposição, das características operacionais, número de trabalhadores expostos entre outros. Além disso, os resultados das avaliações em cada GHE, também deve ser levado em consideração na quantidade de medições realizadas no monitoramento. Mais adiante, no item 5.1.4, a estratégia de avaliação de ruído e tratamento estatístico dos dados serão abordados.

Depois de realizados todos os procedimentos anteriores, passa-se à dosimetria. A estratégia de avaliação dependerá do tipo de exposição no posto de trabalho analisado, isto é, se é fixo ou itinerante e se os níveis de ruído são variáveis em função das operações. Sendo assim, por exemplo, numa oficina de manutenção mecânica, se forem realizadas 10 dosimetrias, possivelmente teremos doses diferentes em todas as medições, por causa da grande variação dos níveis em razão da natureza dos serviços realizados. A dosimetria pode ser realizada durante toda a jornada de trabalho ou em parte dela. Quando os níveis de ruído são muito variáveis, é recomendável realizar a medição durante toda a jornada. A dosimetria poderá ser feita em parte da jornada, quando o ciclo de trabalho for regular e se repetir durante todo o período, ou seja, o ciclo de operações se repete no restante da jornada não avaliada. Nesse caso, é necessário projetar a dose para 8 (oito) horas.

Exemplo:

Numa operação de carregadeira, obteve-se $Leq = 95 \text{ dB(A)}$ e dose = 200% ou 2,0, durante 4 (quatro) horas de medição. Se o trabalhador operar esse equipamento durante o restante da jornada, ou

seja, com a mesma exposição ao ruído, a dose projetada para 8 (oito) horas será igual a 400% ou 4,0 e $Leq = 95 \text{ dB(A)}$. Entretanto, se, no restante da jornada de trabalho, o operador permanecer em local sem exposição ao ruído, por exemplo, nível de 70 dB(A) , a dose projetada permanecerá 200% ou 2,0 e o $Leq = 90 \text{ dB(A)}$.

Na avaliação ocupacional do ruído, é importante definir a estratégia de medição visando a realizar número adequado de amostras de ruído, em cada GHE, determinando o valor representativo da dose e Leq . Para isso, os dados obtidos devem ser tratados estatisticamente, conforme será visto mais adiante no item 5.1.4. Outra situação de exposição que ocorre com frequência é a exposição bem acima do limite em determinado dia. Nesse caso, deve-se calcular a parcela de contribuição na dose normal diária. Assim, por exemplo, a exposição normal de um trabalhador é de 90 dB(A) e dose = 2, porém em um dos dias da semana ele fica exposto a um ruído de 110 dB(A) durante 2 (duas) horas. Essa exposição resulta numa dose igual a 8, que deverá ser acrescida no cálculo DOSE média da exposição normal.

A ACGIH admite que a soma das frações da dose de um dia específico qualquer pode exceder a unidade, desde que a soma das frações em período de 7 (sete) dias seja menor ou igual a cinco e que nenhuma dose diária ultrapasse a três.

E) Laudo técnico

Com base nos dados obtidos nas avaliações, o técnico deverá emitir o seu parecer sobre o possível risco da exposição ocupacional ao ruído, bem como as medidas coletivas, administrativas ou no homem, as quais devem ser adotadas para eliminar ou neutralizar o risco.

No Apêndice I, encontra-se um modelo de laudo de avaliação da exposição ocupacional do ruído. Lembramos que esse modelo é apenas uma sugestão, devendo os leitores aperfeiçoá-lo.

5.1.4. ESTRATÉGIA DE AVALIAÇÃO DE RUÍDO

As normas do MTE (Ministério do Trabalho e Emprego) e da FUNDACENTRO não definem o número de dosimetrias a serem realizadas em cada Grupo Homogêneo de Exposição (GHE). Desse modo, na avaliação ocupacional de ruído, normalmente os técnicos encontram dificuldades em definir o número ideal de avaliações. A NTP 270 — *Instituto de Seguridad e Higiene en el Trabajo do Ministério do Trabalho*

da Espanha, com base na norma francesa — NF — S 31 — 084 da *Association Française de Normalisation*, estabelece procedimento de avaliação do ruído e tratamento estatístico dos dados. Essa norma parte da hipótese de que a exposição ao ruído ao longo do tempo segue uma distribuição normal. Assim, o procedimento consiste no seguinte:

1) Selecionar aleatoriamente os dias de avaliação dos níveis de ruído para cada GHE;

2) Efetuar, no mínimo, 3 (três) avaliações em cada Grupo Homogêneo de Exposição em dias aleatórios;

3) Calcular a média e o desvio padrão das medições realizadas;

Seja L_i o nível equivalente L_{eq} das amostras ($i = 1, 2, \dots, n$).

A média do L_{eq} é igual a:

$$\text{Média} = \frac{\sum L_i}{n};$$

4) Calcular o desvio padrão DP de acordo com a seguinte equação:

$$DP = \sqrt{\frac{(L - L_i)^2}{n - 1}}$$

5) Os limites de confiança com 95% de certeza, em função do número de medições (N) e Desvio Padrão (DP), são dados na tabela 3. Sendo assim, após o cálculo do desvio padrão (DP), deve-se procurar na tabela o erro cometido na determinação da média, segundo o número de amostras e o referido desvio obtido.

***TABELA 3**

$$\text{INTERVALO DE CONFIANÇA} = T \cdot \frac{S_L}{\sqrt{n}}$$

		DP																															
N	T	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3	3,1	3,2				
3	4,303	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4	5	5	5	5	6	6	6	6	7	7	7	7	8	8				
4	3,182	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5				
5	2,776	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4				
6	2,571	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3				
7	2,447	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3				
8	2,365	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3				
9	2,306	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2				
10	2,252	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2				
11	2,228	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2				
12	2,201	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2				
13	2,179	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2				
14	2,16	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2				
15	2,145	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2				
16	2,131	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2				
17	2,12	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2				
18	2,11	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2				
19	2,101	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2				
20	2,093	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
21	2,066	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
22	2,08	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
23	2,074	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
24	2,069	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
25	2,064	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
26	2,06	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
27	2,056	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
28	2,052	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
29	2,048	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
30	2,045	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
31	2,042	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
35	2,03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
41	2,021	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
46	2,014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
51	2,009	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
61	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				

		DP																												
N	T	3,3	3,4	3,5	3,6	3,7	3,8	3,9	4	4,1	4,2	4,3	4,4	4,5	4,6	4,7	4,8	4,9	5	5,1	5,2	5,3	5,4	5,5	5,6	5,7	5,8	5,9	6	
3	4,303	8	8	9	9	9	9	10	10	10	10	11	11	11	11	12	12	12	12	12	13	13	13	13	14	14	14	14	15	15
4	3,182	5	5	6	6	6	6	6	6	7	7	7	7	7	7	7	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	9	9	10	
5	2,776	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	6	6	6	6	6	6	6	7	7	7	7	7	7	7	7	
6	2,571	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	6	6	6	6	6	6	6	
7	2,447	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	6	
8	2,365	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	
9	2,306	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5	
10	2,252	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
11	2,228	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	
12	2,201	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	
13	2,179	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	
14	2,16	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
15	2,145	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
16	2,131	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
17	2,12	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
18	2,11	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
19	2,101	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
20	2,093	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	
21	2,066	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	
22	2,08	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	
23	2,074	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	
24	2,069	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	
25	2,064	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
26	2,06	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
27	2,056	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
28	2,052	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
29	2,048	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
30	2,045	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
31	2,042	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
35	2,03	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
41	2,021	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
46	2,014	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
51	2,009	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	
61	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	

6) Se o erro superar 2 dB(A), o número de medições é insuficiente para se obter a média com intervalo de confiança de 95% de certeza, devendo, nesse caso, realizar novas amostragens também em dias aleatórios.

Aplicação prática:

Num determinado Grupo Homogêneo de Exposição — GHE, foram realizadas avaliações de ruído em dias aleatórios, obtendo-se os seguintes dados:

Número medição (N)	Leq em dB(A)
01	91
02	94
03	93
04	89
05	88

a) Cálculo da média

$$\text{Média} = \frac{91 + 94 + 93 + 89 + 88}{5} = 91,0 \text{ dB(A)}$$

b) Cálculo do Desvio Padrão — DP

$$DP = \sqrt{\frac{(91-91)^2 + (94-91)^2 + (93-91)^2 + (89-91)^2 + (88-91)^2}{5-1}} = 2,5 \text{ dB}$$

Consultando a Tabela 3, para o Desvio Padrão (DP) = 2,5 e N = 5, o limite de confiabilidade com 95% é igual a 3,0 dB(A). Como esse intervalo é superior a 2,0 dB(A), é necessário realizar medições sucessivas. Assim, por exemplo, numa sexta medição, realizada em dia aleatório, o valor obtido foi igual a 90 dB(A).

Com esse dado, efetuam-se os novos cálculos da média e do Desvio Padrão (DP):

a) Cálculo da média

$$\text{Média} = \frac{91 + 94 + 93 + 89 + 88 + 90}{6} = 91,0 \text{ dB(A)}$$

b) Cálculo do Desvio Padrão — DP

$$DP = \sqrt{\frac{(91-91)^2 + (94-91)^2 + (93-91)^2 + (89-91)^2 + (88-91)^2 + (90-91)^2}{6-1}} = 2,3 \text{ dB}$$

Consultando a Tabela 3, para o desvio padrão (DP) = 2,3 e N = 6, o limite de confiabilidade com 95% é igual a 2,0 dB(A). Portanto, o nível

equivalente de ruído com limite de confiança de 95% de certeza é igual a $L_{eqm} = 91 \pm 2$ dB(A). Se as medidas forem efetuadas com um medidor do tipo 2, a incerteza desse instrumento é de ± 1 dB(A), resultando num intervalo global de 3,0 dB(A). Desse modo, o valor L_{eqm} será igual a 91 ± 3 dB(A).

Convém ressaltar que, em medições em que os valores do L_{eq} possuem grande variação, é necessário analisar os dados específicos de cada amostra, de forma a considerá-lo ou não no cálculo da média.

Outra estratégia de avaliação de ruído e tratamento estatístico dos dados, que pode ser usado na avaliação de exposição ocupacional ao ruído, são os intervalos de confiança. Segundo a AHIA (AMERICAN INDUSTRIAL HYGIENE ASSOCIATION), para proteção da saúde do trabalhador, o limite superior de confiança é muito utilizado. Assim, por exemplo, se a média aritmética com 95% de confiança for inferior ao limite de tolerância, significa que a exposição terá conformidade com 95% de certeza. No entanto, pode usar também o limite inferior de confiança para estimativa do risco de exposição. As equações a seguir mostram os cálculos dos limites inferior e superior de confiança com 95% de certeza. Os cálculos das equações podem ser feitos facilmente por meio de calculadora ou computador (AHIA, 2006)⁽⁷⁾.

$$LSC = \bar{x} + t \left(\frac{S}{\sqrt{n}} \right)$$

$$LIC = \bar{x} - t \left(\frac{S}{\sqrt{n}} \right)$$

Onde:

LSC — Limite superior de confiança com 95% de certeza

LIC — Limite inferior de confiança com 95% de certeza

\bar{x} — Média aritmética

t — valor para confiança de 95% obtido na tabela 4 de distribuição student, onde o grau de liberdade é igual n-1.

s — desvio padrão

n — número de medições

(7) AMERICAN INDUSTRIAL HYGIENE ASSOCIATION — AHIA. *Strategy for Assessing and Managing Occupational Exposures*. 3rd. Fairfax, VA 2006.

Como comentado anteriormente, embora a AHIA recomende o julgamento da exposição com base no limite superior de confiança, podem-se fazer testes de conformidade usando os dois limites.

Com base nos limites inferior e superior de confiança com 95% de certeza em relação à média, os testes de conformidade e não conformidade, de acordo com a NIOSH, são descritos a seguir (NIOSH, 1977).

Critério estatístico	Definição	Classificação
LIC > LT	Existe 95% de probabilidade de a exposição superar o Limite de Tolerância	Não conformidade
LSC ≤ LT	Existe 95% de probabilidade de a exposição ser inferior ao Limite de Tolerância	Conformidade da exposição
Possível sobre exposição	Exposição que não se enquadra nas hipóteses anteriores	

Exemplo:

Considerando os mesmos níveis de ruído do cálculo estatístico anterior:

Número de medição	Leq em dB(A)
1	91
2	94
3	93
4	89
5	88

A determinação dos limites de inferior e superior de confiança será feita da seguinte maneira:

Média do Lavg igual a 91 dB(A)

s — desvio padrão igual 2,5

t — com o grau de liberdade (5-1=4), obtém-se na tabela 4 o valor de t igual a 2,132 para limite de confiança de 95%.

$$LSC = 91 + 2,132 \left(\frac{2,5}{\sqrt{5}} \right) = 93,4 \text{ dB (A)}$$

$$LIC = 91 - 2,132 \left(\frac{2,5}{\sqrt{5}} \right) = 88,6 \text{ dB (A)}$$

Como o LIC foi superior a 85 dB(A), de acordo com o teste do critério sugerido pelo NOSH, existe 95% de probabilidade da exposição superar o Limite de Tolerância.

TABELA 4
Distribuição *t* de *Student*

Área na cauda superior (unicaudal)								
<i>df</i>	<i>t</i> .60	<i>t</i> .70	<i>t</i> .80	<i>t</i> .90	<i>t</i> .96	<i>t</i> .976	<i>t</i> .99	<i>t</i> .995
1	0,325	0,727	1,376	3,078	6,314	12,706	31,821	63,657
2	0,289	0,617	1,061	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925
3	0,277	0,584	0,978	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841
4	0,271	0,569	0,941	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604
5	0,267	0,559	0,920	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032
6	0,265	0,553	0,906	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707
7	0,263	0,549	0,896	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499
8	0,262	0,546	0,889	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355
9	0,261	0,543	0,883	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250
10	0,260	0,542	0,879	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169
11	0,260	0,540	0,876	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106
12	0,259	0,539	0,873	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055
13	0,259	0,538	0,870	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012
14	0,258	0,537	0,868	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977
15	0,258	0,536	0,866	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947

Área na cauda superior (unicaudal)								
df	t. _{.60}	t. _{.70}	t. _{.80}	t. _{.90}	t. _{.96}	t. _{.976}	t. _{.99}	t. _{.995}
16	0,258	0,535	0,865	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921
17	0,257	0,534	0,863	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898
18	0,257	0,534	0,862	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878
19	0,257	0,533	0,861	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861
20	0,257	0,533	0,860	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845
21	0,257	0,532	0,859	1,323	1,721	2,080	2,518	2,831
22	0,256	0,532	0,858	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819
23	0,256	0,532	0,858	1,319	1,714	2,069	2,500	2,807
24	0,256	0,531	0,857	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797
25	0,256	0,531	0,856	1,316	1,708	2,060	2,485	2,787
26	0,256	0,531	0,856	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779
27	0,256	0,531	0,855	1,314	1,703	2,052	2,473	2,771
28	0,256	0,530	0,855	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763
29	0,256	0,530	0,854	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756
30	0,256	0,530	0,854	1,310	1,697	2,042	2,457	2,750
40	0,255	0,529	0,851	1,303	1,684	2,021	2,423	2,704
60	0,254	0,527	0,848	1,296	1,671	2,000	2,390	2,660
120	0,254	0,526	0,845	1,289	1,658	1,980	2,358	2,617
∞	0,253	0,524	0,842	1,282	1,645	1,960	2,326	2,576

Fonte: AIHA, 2006

5.2. Avaliação do Ruído para Caracterização da Insalubridade

Os Anexos 1 e 2 da NR-15 da Portaria n. 3.214 estabelecem o critério quantitativo para a verificação da insalubridade por ruído. Conforme comentado no item anterior, a norma fixa no quadro o NPS e o seu respectivo tempo máximo diário de exposição. Para o ruído de impacto, os limites são 120 dB(C) ou 130 dB(linear).